



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL
CASA CENTRAL

Producción de Ácido Nítrico a partir de Amoniaco

Diseño de Procesos, Semestre 2-2011

L. Guzmán – E. Llantén - J. Muñoz – I. Rojas – F. Spada

Valparaíso, 6 de Marzo de 2012

Resumen Ejecutivo

El objetivo del presente proyecto es el diseño de una planta para la producción de Ácido Nítrico. Este es un ácido fuerte, de gran importancia en la industria minera y la industria agrícola, dado que es materia prima de explosivos y fertilizantes varios. Ante la demanda creciente por este producto, existe la necesidad de la instalación de una nueva planta que logre satisfacer los requerimientos del mercado. Actualmente el costo de venta del producto es de aproximadamente 0,75[USD/Kg]

Se evalúa por lo tanto, la instalación de una planta con una capacidad de producción de 300.000[Ton/año] especificada para producir acido nítrico al 60%, en el sector norte del país, específicamente en la ciudad de Mejillones. Esto debido a que es una zona con alta actividad minera y la presencia de un terminal portuario, facilita el arribo por vía marítima de la materia prima, Amoniaco.

El método de producción que se utilizara es el proceso Ostwald. Este se lleva a cabo en tres pasos:

- Oxidación de amoniaco con aire en exceso en presencia de un catalizador de platino.
- Oxidación del monóxido de nitrógeno a dióxido de nitrógeno
- Absorción del gas en agua dando como resultado el ácido nítrico.

Para satisfacer los objetivos de producción, se debe tener en cuenta que los pasos de oxidación se ven favorecidos por una presión baja, mientras que la absorción del gas es beneficiada por una alta presión de operación.

Dadas las ventajas económicas y la posibilidad de una alta recuperación de energía se ha escogido un proceso del tipo “Single pressure”, por sobre el “Doublepressure”. Esto quiere decir que se trabajará con una misma presión a lo largo de todo el proceso.

Teóricamente, por cada 0,2866 [Kg] de alimentación de Amoniaco, se logrará producir 1 [Kg] ácido nítrico puro (100%), demandando entonces, 51.588 [Ton] de materia prima para cumplir con los requerimientos anuales de producción.

Índice General

Índice de Tablas

Índice de Ilustraciones

Introducción

El presente proyecto está enfocado en la producción de ácido nítrico, a partir de amoniaco. Para ello, se presentan las diferentes vías de producción, seleccionando bajo estudiados criterios, las mejores opciones en cuanto a tecnología, condiciones de operación, equipos, y especificaciones.

Es importante señalar que en Chile, la demanda del producto ha ido aumentando al pasar los últimos años, haciendo válida la opción de implementar la planta de ácido nítrico en el país para satisfacer la demanda actual, ya que la mayor proporción en cuanto a la transacción del ácido viene dado por las importaciones.

Para lograr un producto de calidad, en el proyecto se encontrará el desarrollo de un estudio técnico, el cual considera como objetivo la implementación de la planta de ácido nítrico. Para lo anterior se hace fundamental la determinación de los parámetros óptimos del proceso, así como los equipos que aseguren una eficiencia en la operación, respetando los requerimientos energéticos mundiales que se hacen protagonistas actualmente, así como el compromiso de tratar de manera responsable los residuos generados, teniendo principal cuidado con los gases descargados a la atmósfera, previo tratamiento.

Considerando las condiciones actuales en cuanto al mercado objetivo del producto a desarrollar, vemos la necesidad de desarrollar el presente proyecto, cuya finalidad es proveer al país, ácido nítrico al 60% en concentración, que es el más utilizado debido a las diversas aplicaciones en las cuales está presente.

Descripción del Producto

El ácido nítrico (HNO_3) es un ácido fuerte y poderoso agente oxidante, muy importante en la industria debido a que posee un sinnúmero de aplicaciones en procesos de producción. Es un líquido incoloro a temperatura ambiente y presión atmosférica, es soluble en agua en todas las proporciones, ionizándose casi completamente y liberando calor por dilución. Esta solubilidad es la que determina los métodos de producción para la fabricación comercial de ácido nítrico. Es un agente oxidante fuerte que ataca la mayoría de los metales como el mercurio, cobre y plata (no así al platino o al oro), teniendo la facultad de crear una capa pasivante en algunos metales como el hierro y el aluminio.

Una de las propiedades físicas más importantes del ácido nítrico es la formación de un azeótropo con agua, lo que influye en las técnicas de producción de ácido nítrico concentrado o puro. Esto ocurre a 121,9°C para una concentración en peso de 68,4% de ácido nítrico a presión atmosférica.

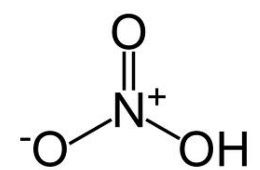


Ilustración 1: Molécula de HNO3

Al ser muy tóxico, se deben tomar precauciones al momento de manipularlo. Se descompone al elevar su temperatura, generando óxidos de nitrógenos muy tóxicos. Puede reaccionar con compuestos orgánicos tales como la acetona o el ácido acético, lo que puede producir incendios o explosión. Al inhalarlo puede producir irritación del sistema respiratorio originando una bronquitis o neumonía. Al contacto con los ojos produce daños graves que pueden culminar con la pérdida total de la visión. Al ingerirlo produce quemaduras en la boca, garganta, esófago y estómago, pudiendo causar la muerte al ingerir más de 5[ml]. Al contacto con la piel puede producir quemaduras penetrantes y graves. El ácido nítrico es también tóxico en el medio ambiente, dañando los ambientes acuáticos, al acumularse en los organismos que viven en ellos (concentración debe ser menor a 72 ppm en agua dulce y menor a 330 ppm en agua salada). También puede alterar el equilibrio ecológico en aguas contaminadas, ya que puede solubilizar algunos minerales, impidiendo la vida vegetal. Se debe mantener alejado de sustancias reductoras, sustancias básicas, químicosorgánicos o combustibles ya que puede reaccionar violentamente con alguna de ellas.

Propiedades Físicas

El ácido nítrico que se producirá tendrá una concentración del 60%, ya que es el más demandado en el mercado nacional y mundial, el cual presenta las siguientes propiedades físicas:

Propiedad	Valor
Masa molar	63,01 [g/mol]
Apariencia	Liquido incoloro o amarillento
Densidad	1,513 [g/cm^3]
Punto de fusión	-42 °C
Punto de ebullición	83 °C
Presión de vapor	62 [mmHg]
pH	1.0
Solubilidad en agua	Soluble en toda proporción

Tabla 1: Propiedades físicas del ácido nítrico

Procesos de Fabricación

El ácido nítrico puede ser producido mediante los siguientes métodos:

- Utilizando ácido sulfúrico sobre el nitrato de sodio.
- En un arco eléctrico, sintetizando directamente por la combinación de nitrógeno y oxígeno atmosférico.
- Mediante la oxidación del amoníaco a través de una reacción catalítica, utilizando platino como catalizador, el cual corresponde al proceso con el que se trabajará en el presente proyecto.

Como se mencionó anteriormente, el ácido nítrico forma un azeótropo con agua aproximadamente a 68% en peso, por lo que si se necesita ácido nítrico más concentrado, los métodos más tradicionales para su concentración son la destilación extractiva con agentes deshidratantes como ácido sulfúrico o nitrato de magnesio ó reacción con óxido de nitrógeno adicional, siendo la segunda la opción mas ampliamente usada en la industria.

Usos

- Explosivos: Se emplean grandes cantidades para la elaboración de explosivos, tales como trinitrotolueno (TNT) y nitroglicerina principalmente.

- Abonos: Para la fabricación de nitratos, los cuales se emplean como fertilizantes. Los abonos nitrogenados más consumidos son el nitrato sódico ($NaNO_3$) y el nitrato potásico (KNO_3).

- Tintas:Se utiliza para la fabricación de colorantes artificiales, requeridos para la industria fotográfica en grandes cantidades.
- Otros usos:Fabricación de medicamentos y productos farmacéuticos; oxidante en cohetes de combustible líquido; en química como reactivo de laboratorio; para purificación de metales preciosos (oro, plata, platino) y baños de limpieza en la industria acerera; fabricación de fibras sintéticas (Nylon) y de resinas.

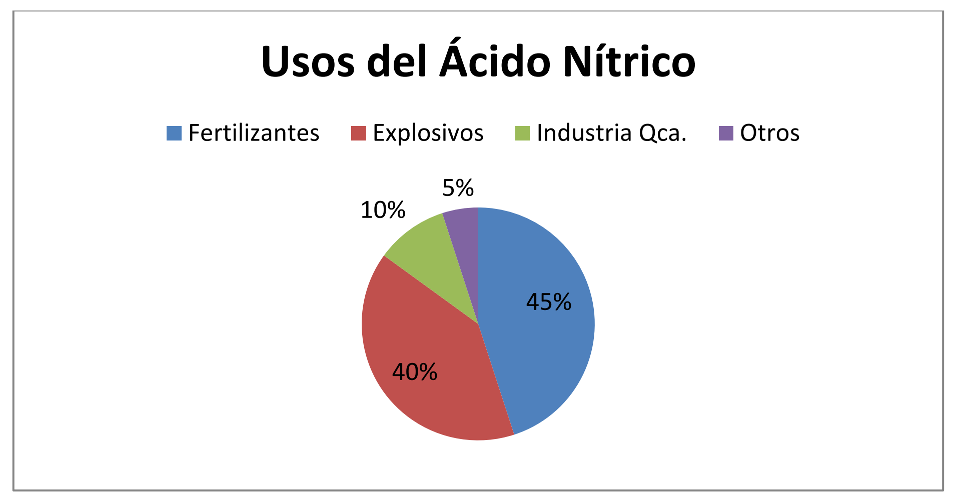


Ilustración 2: Distribución de uso del producto

Mercado del Ácido Nítrico

Exportación del Producto

La producción de ácido nítrico nacional se reduce a la planta de nitrato de amonio perteneciente a Enaex, donde el ácido corresponde a un producto intermedio del proceso.Durante los últimos años la demanda de nitrato de amonio ha aumentado, y consecuentemente, la producción del ácido. El nivel de las exportaciones de este producto también ha aumentado, lo que se puede observar en el siguiente gráfico:

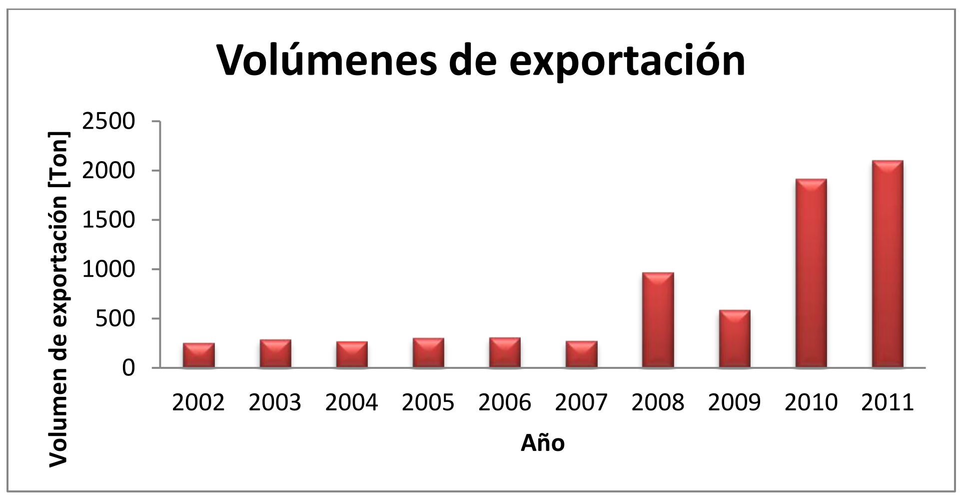


Ilustración 3: Exportación de Ácido Nítrico

Se observa un crecimiento a partir del año 2008, interrumpido el año 2009 probablemente por la fuerte crisis que golpeó a la mayoría de las economías mundiales y la recesión técnica en la que entróChile.Observando la tendencia al alza durante los dos últimos años, se podría prever un aumento de los volúmenes de exportación para el 2012.
Como puede observarse a continuación, Argentina se ha consolidado como el principal comprador del Ácido Nítrico producido en territorio nacional, donde lo utilizan principalmente para el uso de fertilizantes.

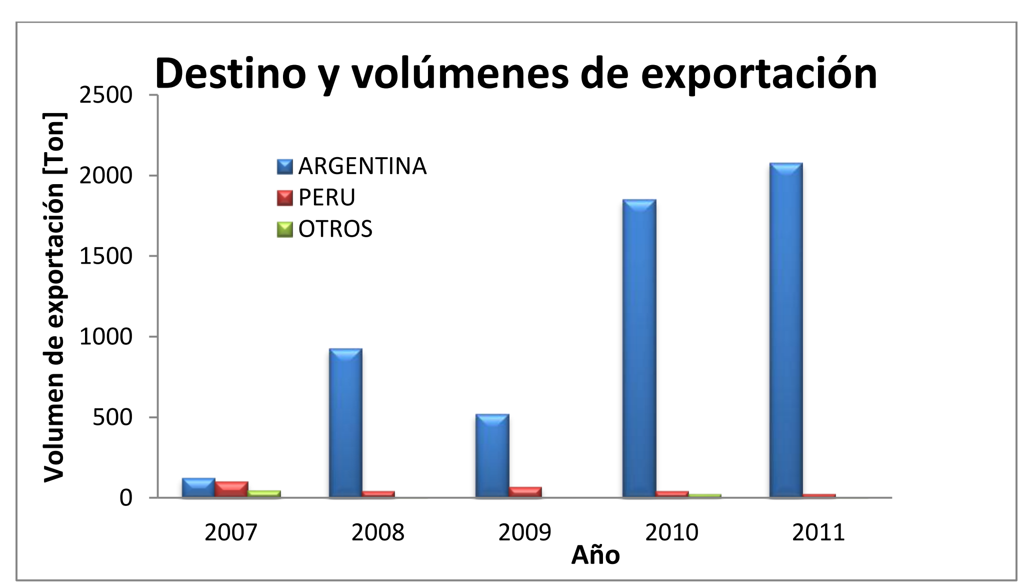


Ilustración 4: Destino de exportaciones y volúmenes.

Importación del Producto

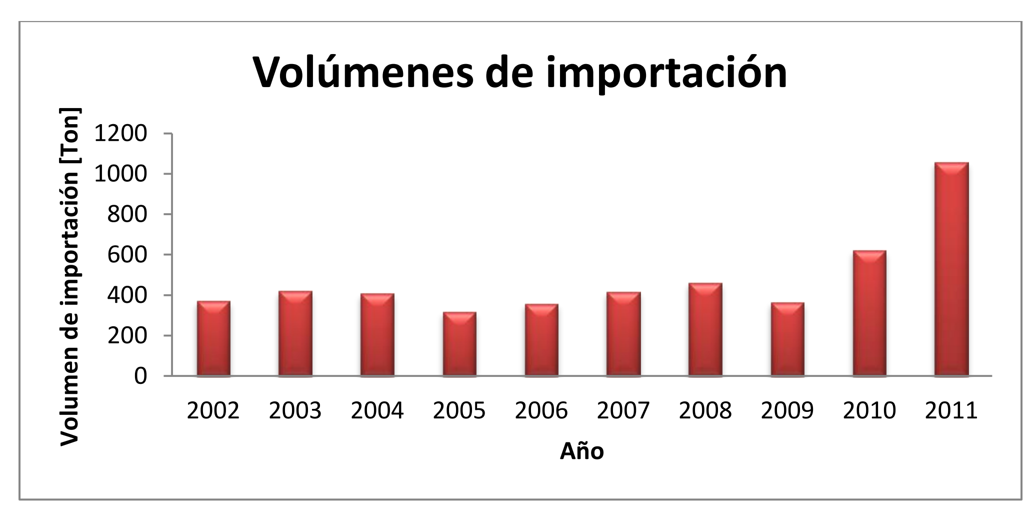


Ilustración 5: Volúmenes de importación de ácido nítrico

Hasta el año 2009 se observa una tendencia constante en los volúmenes importados a nuestro país. Sin embargo el último año registra un crecimiento notorio respecto a los anteriores que posiblemente se prolongará en el 2012, debido a la estabilidad económica actual en Chile.

A continuación se muestran las empresas con mayores volúmenes de importación, las cuáles, realizan esta operación para consumo propio o para comercializar el ácido nítrico dentro del país.

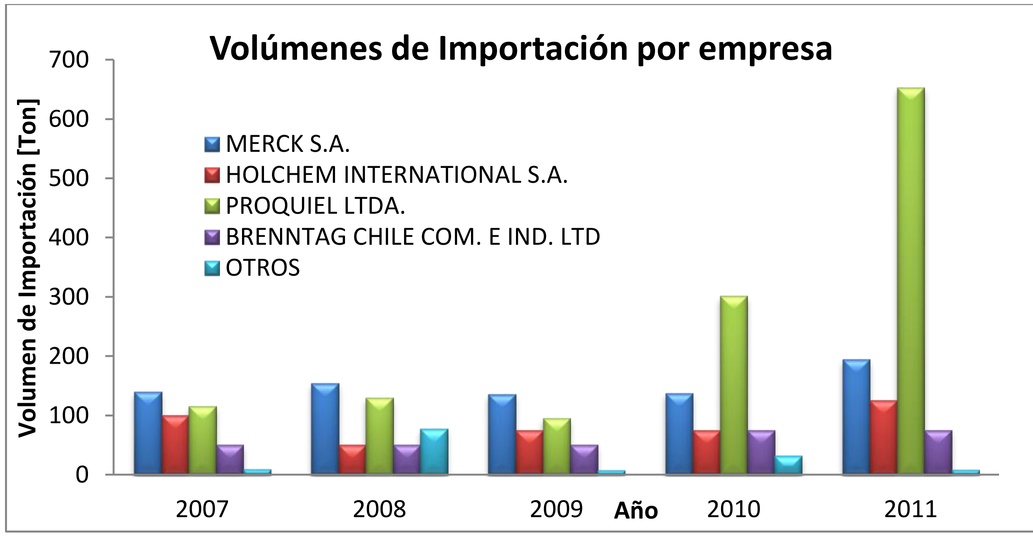


Ilustración 6: Empresas importadoras de ácido nítrico

El crecimiento en el volumen global de importación de ácido nítrico se hace evidente al observar el detalle de las importaciones recibidas por cada empresa. Este aumento se puede notar principalmente en la empresa PROQUIEL,que durante el último año aumentó en más de un 100% sus importaciones.
Los principales países, de los cuales provienen las importaciones realizadas se muestran a continuación:

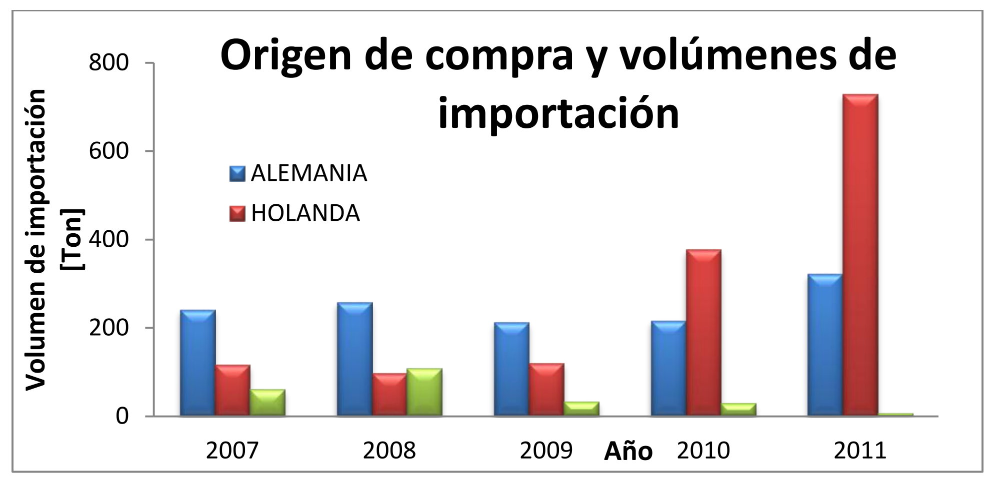


Ilustración 7: Origen de las importaciones

Alemania ha mantenido sus exportaciones de ácido nítrico a Chile a través del tiempo, no obstante, Holanda se ha convertido en el principal actor durante los últimos 2 años, aumentando considerablemente los volúmenes ingresados a nuestro país.

Descripción de la Materia Prima

El amoníaco (NH_3), materia prima a partir de la cual se produce el ácido nítrico, es un gas incoloro con un olor irritante. Es soluble en agua, además de volátil, y en solución acuosa se comporta alcalinamente, formando el ion NH_4^+. Es fácilmente biodegradable, ya que contribuye a la nutrición de los organismos terrestres, siendo asimilado fácilmente por las plantas.

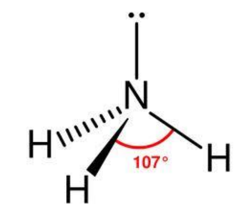


Ilustración 8: Molécula de NH3

La mayor parte del amoníaco es importado por buques estanques principalmente del Caribe y del Golfo de Estados Unidos.

Se debe manipular con cuidado debido a la toxicidad de la sustancia, al establecer contacto directo en altas concentraciones. Al ser inhalado en concentraciones altas puede producir daños en las vías respiratorias y ojos, irritación de garganta e incluso la muerte al superar aproximadamente las 5.000 ppm. Al contacto con la piel puede producir irritación e incluso quemaduras si se expone por un corto tiempo a concentraciones mayores a 300 ppm.

Puede también formar mezclas combustibles con aire en concentraciones entre 16-26% en volumen, en presencia de oxígeno (sobre 14%), las cuales pueden provocar explosión al estar contenido a presión.

Propiedades Físicas

En la siguiente tabla se muestran algunas propiedades y características a considerar a la hora de trabajar con este compuesto:

Propiedad	**Valor**
Olor	Irritante, fuerte
Peso Molecular	17,03 [gr/mol]
Densidad	0,616 [gr/mL] a 15ºC
Punto de ebullición	-33,35ºC (-28ºF)
Punto de congelamiento	-77,7ºC (-107,9ºF)
Calor de vaporización	327,4 [cal/gr] (a 1 [atm])
Temperatura crítica	132,4ºC
Presión crítica	115,5 [atm]
Densidad crítica	0,235[gr/mL]
Viscosidad (Líquido a –33,5 ºC)	0,266 [cp]
Temperatura de descomposición	871,1 – 982,2ºC

Tabla 2: Propiedades del amoniaco

Proceso de Fabricación

El amoniaco se obtiene exclusivamente por el método denominado proceso Haber-Bosch. El proceso consiste en la reacción directa entre el nitrógeno y el hidrógeno gaseoso.

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightarrow 2NH_{3(g)}$$
$$\Delta H° = -46,2 \text{ [kJ/mol] } \Delta S° < 0$$

Es una reacción muy lenta, puesto que tiene una elevada energía de activación, consecuencia de la estabilidad del N_2. Para revertir esta situación se utiliza un catalizador (óxido de hierro que se reduce a Fe^0 en la atmósfera de H_2) y se aumenta la presión, ya que esto favorece la formación del producto. Aunque termodinámicamente la reacción es mejor a bajas temperaturas, esta síntesis se realiza a altas temperaturas para favorecer la energía cinética de las moléculas y aumentar así la velocidad de reacción. Además se va retirando el amoníaco a medida que se va produciendo para favorecer todavía más la síntesis de productos.

Usos

Dentro de las principales aplicaciones referentes al amoniaco, se encuentran: Producción de ácido nítrico; como fertilizante; como producto de limpieza, debido a sus excelentes propiedades que lo hacen efectivo como desengrasante; producción de fibras y plásticos.

Mercado

Importaciones

Chile no es productor de amoniaco, por lo cual su adquisición se realiza en mercados del Caribe o Latinoamérica.
El consumo nacional ha ido en aumento al pasar los años, como puede verse en el siguiente gráfico:

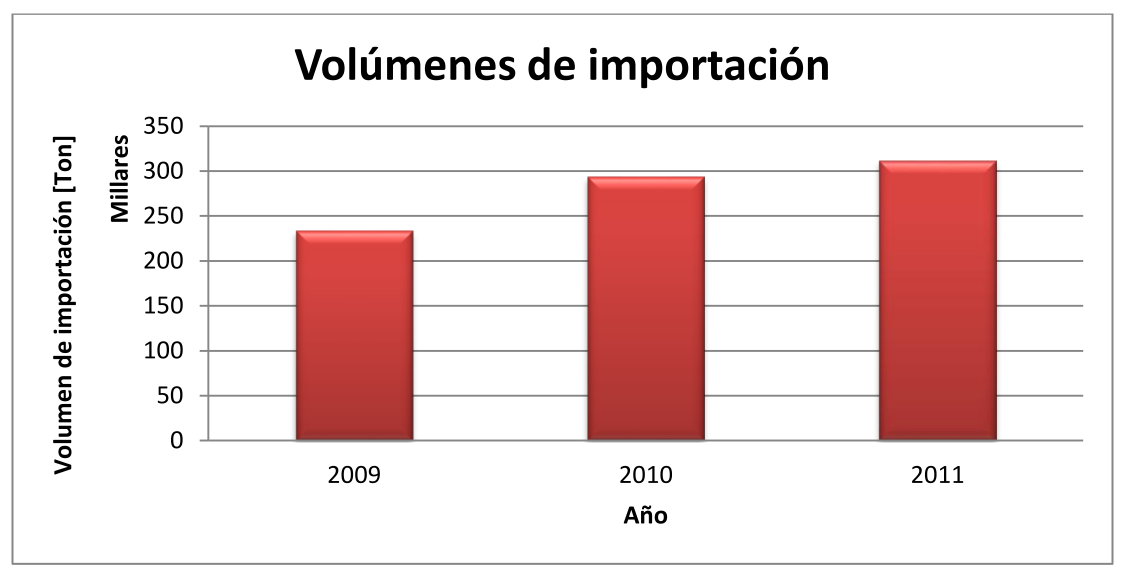


Ilustración 9: Volúmenes de importación

Durante los últimos 3 años Trinidad y Tobago y Venezuela se han mantenido como los mayores proveedores de amoniaco hacia nuestro país:

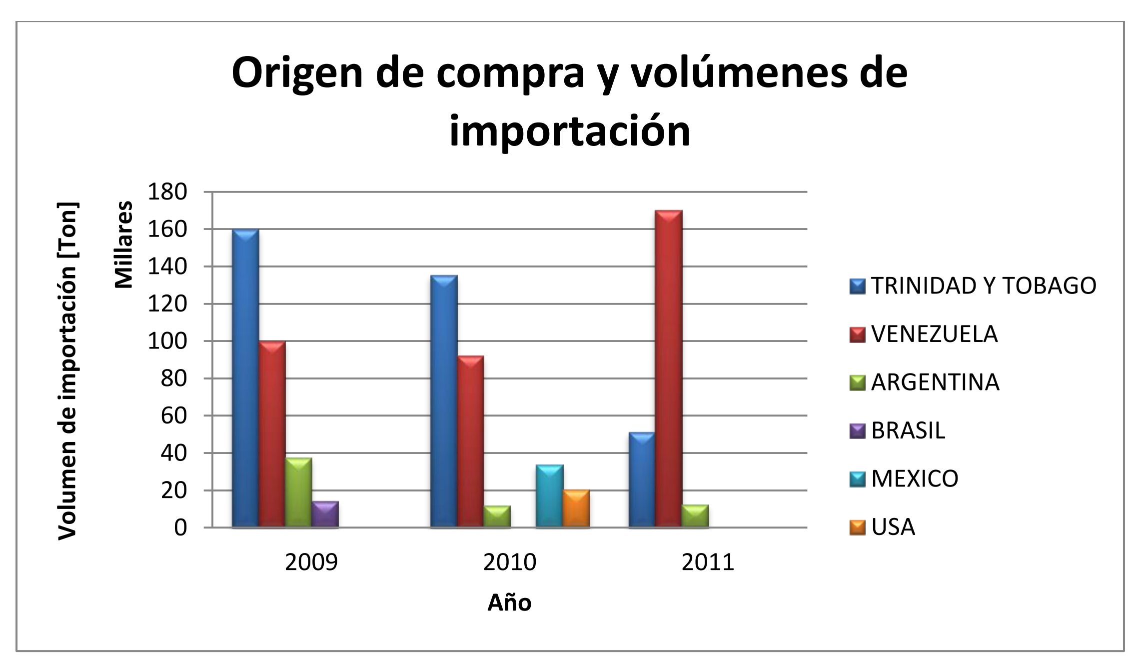


Ilustración 10: Origen de las importaciones

Proceso de Producción de Ácido Nítrico

Descripción Introductoria

El método que se utilizará para la producción del ácido nítrico es el proceso Ostwald. Este se lleva a cabo en tres pasos:

- Oxidación de amoniaco con aire en exceso en presencia de un catalizador de platino, obteniendo monóxido de nitrógeno.
- Oxidación del monóxido de nitrógeno a dióxido de nitrógeno
- Absorción del gas en agua dando como resultado el ácido nítrico.

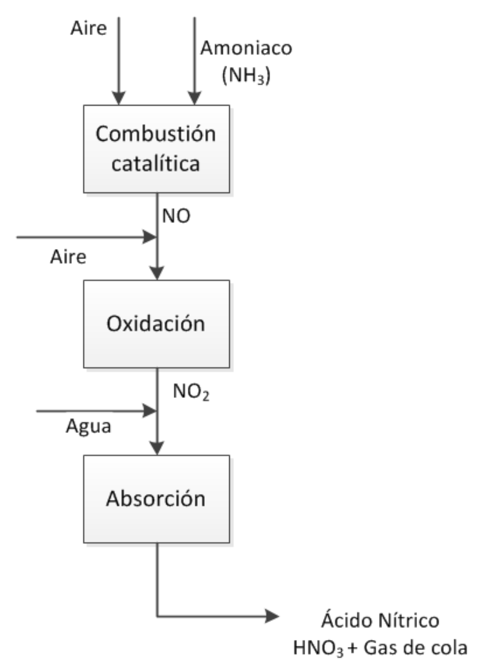


Ilustración 11: Método Ostwald

Condiciones de Operación

Temperatura

El control de la temperatura en el reactor es de gran relevancia ya que a una temperatura baja (entre 200°C y 400°C) se favorece la formación de productos indeseables (nitrógeno y óxido de nitrógeno (I)). Por sobre los 400°C la velocidad de reacción está determinada por la difusión del amoniaco en el catalizador. A mayores temperaturas (alrededor de los 900°C) se favorece la formación de monóxido de nitrógeno (Ilustración 8), sin embargo, se incrementa la pérdida de catalizador por evaporación (Ilustración 9). Por lo tanto la temperatura óptima de operación en el reactor será de 800°C.

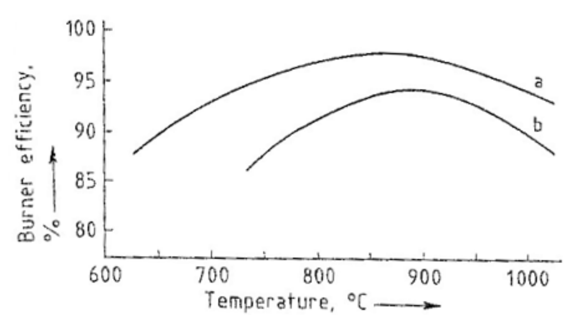


Ilustración 12:Conversión del amoniaco en monóxido de nitrógeno sobre un catalizador de platino
a) 100 [kPa], b) 400 [kPa]

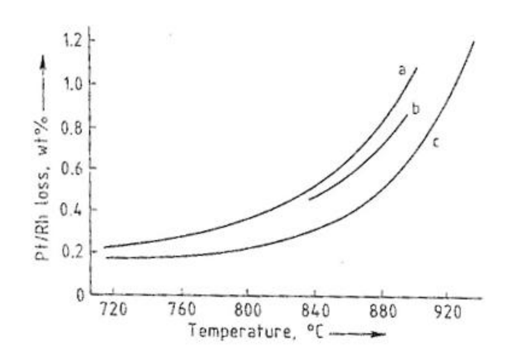


Ilustración 13: Pérdida de catalizador en función de la temperatura
a)Pt, b)Pt/Rh (98/2), c)Pt/Rh (90/10)

Por otra parte, todas las reacciones que ocurren durante el proceso son exotérmicas, lo que implica un enfriamiento en casi todas las etapas. Esto a su vez contribuye al aprovechamiento de la energía en el precalentamiento de reactivos, producción de vapor y en la impulsión de la turbina que mueve el compresor con la energía transportada por los gases de cola.

Presión

Una planta de ácido nítrico puede trabajar con la misma presión en la etapa de reacción y la de absorción (single pressureprocess) o con una presión media en la primera y alta en la segunda (doublé pressureprocess). Cada opción tiene distintas características, las cuales se especifican en la siguiente tabla para la determinación de la presión a la cual se operará:

Presión dual	Presión única
Etapa de conversión opera a 100-350 [kPa]	Etapa de conversión opera a 800-1100 [kPa]
Etapa de conversión opera 865 [°C]	Etapa de conversión opera a 940 [°C]
	Pérdida de catalizador 3,8 veces más rápida
Menor recuperación de energía	10% más de recuperación de energía
Mayor costo de inversión, debido al mayor volumen que se requiere para los estanques que operan a baja presión	Menor costo de inversión
La planta ocupa más espacio	Menor espacio físico requerido
Si se requiere una ácido nítrico fuerte entre el 60-65%, se prefiere dual ya que se puede concentrar más en el absorbedor por tener la posibilidad de utilizar alta presión	Sin problemas de obtención de ácido nítrico al 60% [p/p]

Tabla 3: Comparación entre presiones de operación

El diseño se realizará con una presión única (single pressure) de aproximadamente 1000 [kPa], ya que a pesar que existen mayores pérdidas de catalizador, es posible recuperar un alto porcentaje de éste en los filtros para luego enviarlo a un proceso de reformación/regeneración a empresa especializada en la materia.

Catalizador

Está constituido por mallas muy finas de una aleación de platino/rodio (90/10) que se sitúan muy juntas una sobre la otra.

En la partida de la planta, el catalizador tiene baja porosidad, por lo que la transferencia de masa es muy baja. Después de unos días de operación, el platino se vuelve más poroso y alcanza su máxima eficiencia. Posterior a esto, si se detecta una disminución de la conversión, se debe a la contaminación o pérdida de platino.

La contaminación se puede deber a óxidos de hierro, al polvo del aire y en general a cualquier material que se deposite sobre su superficie. Para evitar esto es que existen los equipos correspondientes de filtrado previos al reactor. La pérdida de platino se puede deber a la abrasión mecánica o a la vaporización debida a la formación de PtO_2 (g) según:

$$Pt + O_2 \rightarrow PtO_{2(g)}$$

Para que esto no suceda se debe mantener la temperatura en 800 [°C]. Ver**Ilustración 13**.

En el proceso existen dos filtros para recuperar catalizador, a pesar de esto, se deben remplazar las pérdidas cada cinco a siete semanas.

Agua de Proceso

El agua utilizada en el proceso debe estar desionizada para evitar la corrosión del acero debida a las sales.

Descripción del Proceso

Oxidación del Amoniaco

El amoniaco se encuentra almacenado en estado líquido a -33 [°C] y a presión atmosférica en el estanque **TK101**.La bomba **J101**lo envía a proceso a 1240 [kPa] para luego ser vaporizado a 35 [°C] en el intercambiador **C101** y luego filtrado en **G101.** En seguida se sobrecalienta hasta 180 [°C] en el intercambiador **C102**utilizando vapor de proceso. Se filtra aire atmosférico en **G104** y se comprime en el compresor de dos fases **J104** y **J105**a 1090 [kPa] y a una temperatura de 232 [°C]. Una parte se envía al bleacher **E102** y la otra se circula por la chaqueta del reactor **R101** para precalentarlo y además para enfriar el reactor. El aire precalentado y el vapor de amoniaco (10,3% en volumen) se mezclan en **L101** y se hacen pasar por el reactor **R101**.

La oxidación del amoniaco ocurre sobre el catalizador de platino según la reacción:

(1) $4NH_3 + 5O_2 \leftrightarrow 4NO + 6H_2O$ Con una eficiencia del 95%
(2) $4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O$

El amoniaco se oxida rápidamente y como la reacción es exotérmica, la temperatura se eleva alrededor de 930 [°C]

Posterior al reactor, los gases atraviesan el filtro **G102,** el cual está compuesto de una aleación de oro y platino y es capaz de recuperar aproximadamente un 70% de las pérdidas de catalizador por volatilización del PtO_2.

Oxidación del Monóxido de Nitrógeno a Dióxido de Nitrógeno

La formación del dióxido de nitrógeno está favorecida por la disminución de la temperatura, por lo que el gas que ha reaccionado fluye a través de una serie de intercambiadores de calor (**C103, C104** y **C105**), los cuales lo enfrían hasta 185 [°C] y permiten aprovechar el calor para producir vapor y recuperar energía.

En el intercambiador **C103** hay un enfriamiento desde 645 [°C] hasta 596 [°C], reaccionando alrededor del 5% del monóxido de nitrógeno según:

$$(3)\ 2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

Luego en el intercambiador **C104** hay un enfriamiento desde 596 [°C] hasta 280 [°C], por lo que reacciona un 15% del NO y un 3% de N_2O_4 formado, según las siguientes reacciones:

$$(3) 2NO + O_2 \leftrightarrow 2NO_2$$
$$(4) 2NO_2 \leftrightarrow N_2O_4$$

En seguida se ubica el filtro **G103** para la recuperación de los óxidos volátiles de platino. Está hecho de una cerámica de silicato de aluminio y es capaz de atrapar el 50% del remanente del metal precioso, el resto se recupera en una etapa posterior. En el filtro reacciona 3% del NO y 0,4% del N_2O_4 formado y como no hay intercambio de calor, se produce un aumento de la temperatura hasta 315 [°C] (reacción exotérmica).

$$(3) 2NO + O_2 \leftrightarrow 2NO_2$$
$$(4)\ 2NO_2 \leftrightarrow N_2O_4$$

En el intercambiador **C105** se aprovecha el calor para precalentar el gas de cola proveniente del intercambiador **C111**. Aquí reacciona el 25% del NO y el 7% del N_2O_4 y hay un enfriamiento desde los 315 [°C] hasta 185 [°C].

$$(3) 2NO + O_2 \leftrightarrow 2NO_2$$
$$(4)\ 2NO_2 \leftrightarrow N_2O_4$$

En esta etapa ha reaccionado el 70% del monóxido de nitrógeno y se ha transformado en dióxido de nitrógeno. Luego el gas se enfría hasta 60°C en el intercambiador **C106**, donde se llevan a cabo las siguientes reacciones en fase gaseosa, donde el 43% del NO reacciona y el 20% del NO_2 se dimeriza en N_2O_4:

$$(3) 2NO + O_2 \leftrightarrow 2NO_2$$
$$(4)\ 2NO_2 \leftrightarrow N_2O_4$$

Como la mezcla de gases disminuye su temperatura, el agua contenida se condensa y se llevan a cabo las siguientes reacciones, produciendo ácido nítrico al 42% según:

$$(5) 3NO_2 + H_2O \leftrightarrow 2HNO_3 + NO$$
$$(6)\ 4NO + 3O_2 + 2H_2O \leftrightarrow 4HNO_3$$
$$(7)\ 4NO_2 + O_2 + 2H_2O \leftrightarrow 4HNO_3$$
$$(8)\ 2N_2O_4 + O_2 + 2H_2O \leftrightarrow 4HNO_3$$

El ácido nítrico producido es separado del proceso y enviado directamente a la torre de absorción **E101.**

Luego el gas se combina con aire a 50 [°C] proveniente del bleacher **E102** (el cual contiene NO_2 adicional) en el tanque **TK102** donde se oxida. Como no hay enfriamiento, la temperatura se eleva hasta 140 [°C].

$$(3) 2NO + O_2 \leftrightarrow 2NO_2$$
$$(4)\ 2NO_2 \leftrightarrow N_2O_4$$

En seguida pasa por el intercambiador de calor **C107,** donde se enfría desde 140 [°C] a 65 [°C] y el gas reacciona alcanzando un 5% de NO y un 95% de NO_2, el cual se encuentra en un 27% dimerizado en N_2O_4. A su vez el gas entrega calor a una recirculación de agua que es la que calienta el amoniaco para evaporarlo al inicio del proceso.

$$(3) 2NO + O_2 \leftrightarrow 2NO_2$$
$$(4)\ 2NO_2 \leftrightarrow N_2O_4$$

Absorción del gas en agua

Luego del enfriamiento, el gas se circula hacia la torre de absorción **E101**, donde reacciona con agua desionizada a contracorriente. Además el ácido al 42% obtenido en la etapa anterior, se agrega por un plato de la sección media para que aumente su concentración. Es importante el enfriamiento en las zonas baja y media, debido a que promueve las reacciones de dimerización y oxidación. El ácido nítrico es producido según:

$$(9)\ N_2O_4 \leftrightarrow 2NO_2$$
$$(10)\ 2NO + O_2 \leftrightarrow 2NO_2$$
$$(11)\ 3NO_2 + H_2O \leftrightarrow 2HNO_3 +\ NO$$

Estas reacciones son exotérmicas, por lo que hay un aumento de temperatura. Para lograr un correcto control, el absorbedor se divide en tres zonas de operación: zona baja enfriada con agua desionizada a 20 [°C]; zona intermedia enfriada con agua a 7°C y zona alta que es adiabática y recibe agua de make-up a 7 [°C]. De esta manera, el gas de cola que sale por el tope de la torre de absorción se encuentra a 10 [°C].

El ácido que sale por el fondo del absorbedor pasa por **J107** donde se comprime a 1010 [kPa]. Luego se envía al bleacher **E102**donde se extrae el N_20_4 por absorción con aire.

Por el fondo se recibe el producto de ácido nítrico al 60% y por el tope el aire que contiene N_20_4 que luego se envía al tanque de oxidación **TK102** para retornarlo al proceso.

El gas de cola que sale del absorbedor se calienta en el intercambiador **C111** hasta 47[°C] intercambiando calor con agua y con el aire proveniente del bleacher. Luego pasa por el intercambiador **C105** donde se calienta hasta 235 [°C], finalmente se calienta hasta 620 [°C] intercambiando calor con la chaqueta del reactor **R101.**

Para disminuir las emisiónes de NOx el gas atraviesa el reactor **R102**, de tal manera de disminuirlas desde 1000 [ppm] a 100 [ppm] y poder liberarlo al ambiente. Luego para recuperar energía, se hace pasar el gas de cola a 620 [°C] y aproximadamente 950 [kPa] por la turbina **JT105** donde disminuye su temperatura hasta 290 [°C] y su presión hasta la atmosférica. Esto permite entregar alrededor del 80% de la energía que se necesita para el funcionamiento del compresor **J105.** Finalmente el gas es liberado a la atmósfera.

Equipos

Filtros y Mezcladores

Para obtener la mayor conversión posible de amoniaco en el catalizador y lograr una vida útil más larga de este, las materiasprimas deben ser purificadas y el aire debe estar muy limpio para evitar el envenenamiento del catalizador.

- Filtro de aireG104 A/B:

Un filtro de múltiples etapas se utiliza en la toma de aire de la planta de ácido nítrico y debe elimina el 99,9% de todas las partículas mayores de 0,5 micrómetros. Es de plástico y fibra de vidrio. Sus marcos son de acero inoxidable.

Estos filtros de aire deben ser sustituidos periódicamente debido a la posibilidad de desgarro al sobrecargarse, además de causar una caída de presión excesiva. La vida útil del filtro depende de la carga de partículas en el aire.

- Filtro de amoniacoG101 A/B:

El filtro de amoníaco líquido elimina los contaminantes sólidos (pequeñas partículas de óxido); 99,9% de las partículas mayores de 3 micrómetros son eliminadas. La filtración elimina el 99,9% de las partículas de aceite y sólidos superiores a 0,5 micrómetros. Es de fibra de vidrio y cerámica.

Se considera un filtro de amoniaco en paralelo debido a la rápida saturación provocada por las impurezas de los productos.

- Mezclador L101:

Se utiliza para la mezcla de amoniaco y aire previa a la oxidación catalítica.

Excesos locales de amoníaco en el reactor son un riesgo para la seguridad de la planta (límite de explosión) y también puede causar el sobrecalentamiento del catalizador. Una mezcla deficiente, disminuye la conversión del amoníaco a monóxido de nitrógeno y aumenta la pérdida de platino de los catalizadores.

Compresores y Turbinas

El equipo utilizado consiste en un compresor de aire de dos fases **J104** y **J105**, una turbina de gas de cola y una turbina de vapor. Son utilizados para entregar y comprimir los gases y el suministro de la potencia de accionamiento necesaria para este fin. La turbina de gas de cola **JT105**puede proporcionar 35-100% de la energía de compresión necesaria para el proceso, dependiendo del grado de precalentamiento. El resto procede de la turbina de vapor **JT104**.

Intercambiadores de Calor

Al inicio del proceso se utiliza un intercambiador de tubo y coraza para la evaporación del amoniaco, utilizando agua, la cual es a su vez se enfría.

Luego de la reacción exotérmica del reactor, los gases calientes se enfrían en un tren de intercambio de calor, donde se utiliza la energía liberada para calentar otros gases del proceso. Los intercambiadores de calor de esta zona también son de tubo y coraza, pasando siempre el gas de reacción por los tubos.

Es importante mantener lo más bajo posible la caída de presión para asegurar un balance energético favorable para la planta en su conjunto.

Reactor R101

Este reactor es de lecho fijo, utiliza un catalizador de platino/rodio, con el fin de oxidar el amoniaco rápidamente, a temperaturas cercanas a los 950 [°C], con un rendimiento que bordea el 95%. Además de la corriente de amoniaco (10,3% en volumen) se circula un flujo de aire previamente calentado.

Torre de absorciónE101

Es utilizada para la absorción de los óxidos de nitrógeno y la consecuente formación de acido nítrico. Consiste en una columna con serpentines de enfriamiento en el interior, razón por la cual es de bandejas de platos y no de tipo empacada.

Bleacher E102

Consiste en una columna de stripping empacada que elimina losNOx contenidos en el ácido.

Resumen de Funciones de las Unidades Principales

Unidad	Función
Tanque almacenamiento de amoniaco	Suministro de materia prima
Tanque intercambio iónico	Proveer agua desionizada
Enfriador de agua desionazada	Enfría circulación de agua desionizada
Filtro de aire	Eliminar partículas sólidas en suspensión
Compresor de aire (2 etapas)	Alimentar aire a 1090 kPa.
Vaporizador de amoniaco	Evapora amoniaco liquido (alimentación)
Filtro de amoniaco	Elimina partículas sólidas
Sobrecalentador de amoniaco	Calienta amoniaco a 180 ºC
Mezclador (alimentación)	Mezcla corrientes gaseosas (amoniaco – aire)
Reactor	Oxidación de amoniaco en aire
Recuperador de calor	Rec. corrientes gaseosas para producir vapor
Separador flash	Retira líquido arrastrado
Sobrecalentador de vapor	Recalentamiento del vapor de proceso
Precalentador gases de cola	Recupera gases de reacción y los precalienta
Calentador gases de cola	Proporcionar calor a gases de cola
Enfriador/Condensador	Condensa ácido débil
Unidad de oxidación	Oxidación final de gases de reacción
Enfriador secundario	Enfria gases antes de la absorción
Unidad de refrigeración	Enfría agua del make-up
Absorbedor	Absorbe óxidos de nitrógeno, forma ácido
Bleacher	Retira NOx disueltos en el ácido nítrico
Tanque ácido nítrico	Almacenamiento de producto especificado

Tabla 4: Unidades principales

Materiales de Construcción

A continuación se presentan los principales equipos con su material de construcción:

Unidad	Material
Vaporizador de amoniaco	Acero suave
Sobrecalentador de amoniaco	Acero suave
Reactor	Pared interior con material refractario; Pared exterior y chaqueta de acero suave
Sobrecalentador de vapor	Acero suave
Recuperador de calor	Acero suave
Precalentador de gas de cola	Acero suave
Enfriador/Condensador	Acero inoxidable
Unidad de Oxidación	Acero inoxidable
Enfriador secundario	Acero inoxidable
Absorbedor	Acero inoxidable
Bleacher	Acero inoxidable
Tanque ácido nítrico	Acero inoxidable 304L[1]

Tabla 5: Material de construcción equipos principales

Se ha comentado con anterioridad que la materia prima, amoniaco, debe ser transportada desde proveedores extranjeros por vía marítima. Su recepción deberá hacerse en un terminal portuario y se deberá contar con una cañería de acero a través de la cual transferirá el amoniaco refrigerado desde el buque hasta los estanques de la planta.Debido a las propiedades físicas del amoniaco, se deberá cuidar que la cañería se encuentre aislada térmicamente durante todo el recorrido.

[1] Acero inoxidable 304L:

	Carbono	Si(max)	Mn(max)	P(max)	S(max)	Cr	Ni
%	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	18.00-20.00	8.00-12.00

Dimensiones estimadas de equipos principales

A continuación se presentas las dimensiones de algunos equipos, estimadas en base a plantas que operan bajo condiciones similares en cuanto a producción:

Unidad	Dimensión
Tanque Ácido Nítrico	6500 [m^3]
Tanque amoniaco	15000 [m^3]
Columna Absorción	2,5 [m] · 42 [m]
Reactor	105 [m^3]
Cañerías amoniaco	19 [inch]

Tabla 6: Dimensiones principales

Diagrama de Flujo

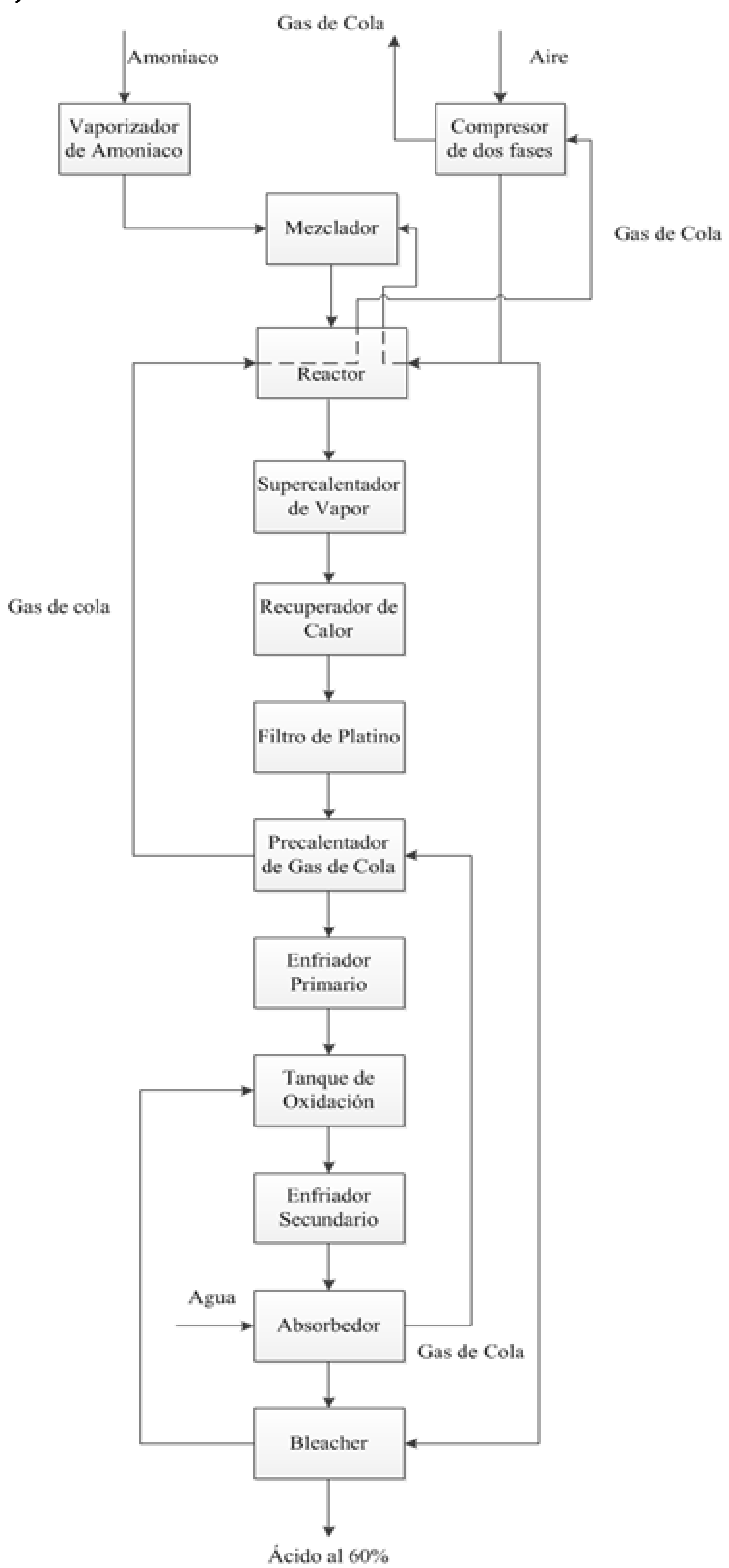


Ilustración 14: Diagrama de bloques

PFD Planta Ácido Nítrico

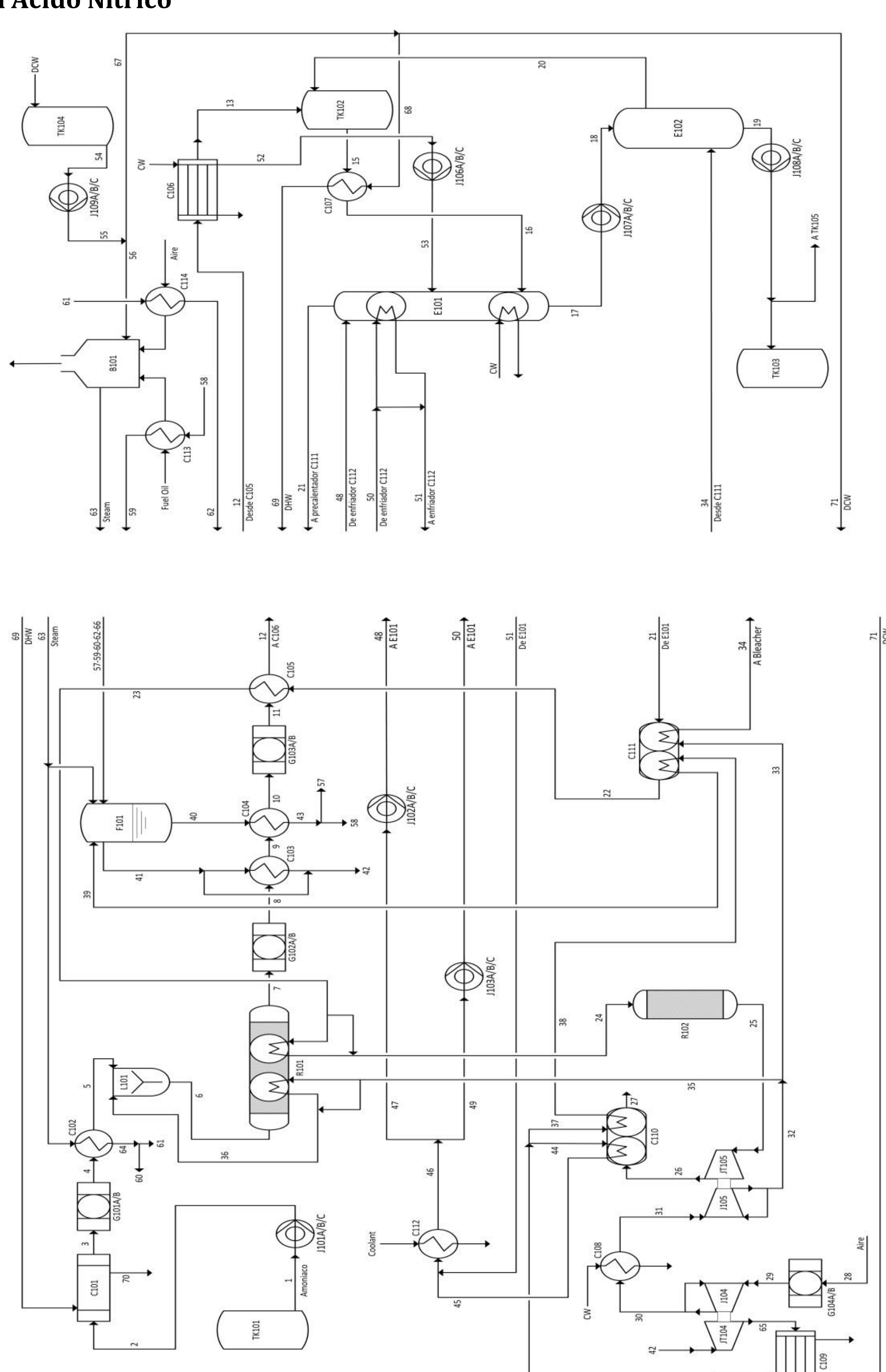


Ilustración 15: PFD Planta de Ácido Nítrico

A continuación se presenta una tabla que muestra la temperatura y presión de cada una de las corrientes.

Corriente	Presión [kPa]	Temperatura [°C]	Corriente	Presión [kPa]	Temperatura [°C]
1	101	-33	**29**	99	35
2	1240	-15	**30**	310	180
3	1240	35	**31**	300	45
4	1230	35	**32**	1090	232
5	1220	177	**33**	1090	232
6	1060	250	**34**	1070	80
7	1035	645	**35**	1090	232
8	1035	645	**36**	1090	262
9	1025	595	**37**	4000	40
10	1020	280	**38**	4000	102
11	1020	315	**39**	4000	96
12	1018	185	**40**	4000	117
13	1015	60	**41**	4000	250
14	1015	60	**42**	4000	380
15	1000	140	**43**	4000	250
16	995	65	**44**	101	20
17	990	46	**45**	101	40
18	990	45	**46**	101	7
19	990	55	**47**	101	7
20	1020	50	**48**	995	7
21	980	10	**49**	101	7
22	970	47	**50**	101	7
23	960	235	**51**	101	20
24	950	620	**52**	1015	66
25	940	620	**53**	1015	65
26	101	290	**54**	101	50
27	101	218	**55**	101	80
28	99	35	**56**	101	80

Tabla 7: Condiciones de operación de las corrientes

Layout

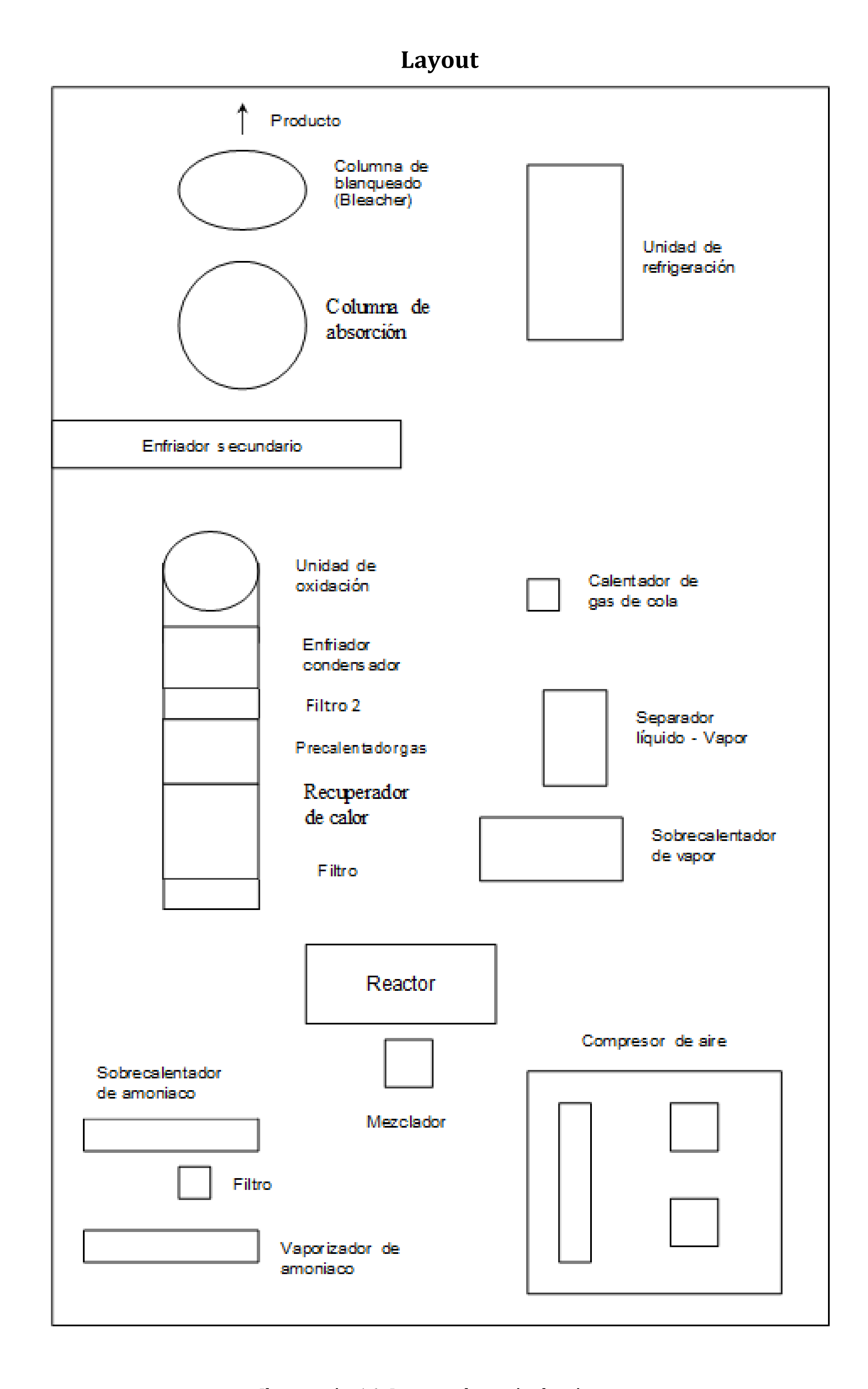


Ilustración 16: Layout planta ácido nítrico

Balances

Balance General

Se desea producir 300.000 [ton/año] de ácido nítrico al 60% en peso, obteniéndose mediante un rendimiento de reacción global de aproximadamente 95%, con un total de 8.000 horas por año de producción.

El balance general del proceso es el siguiente:



Para el balance general se realizaron las siguientes suposiciones y aproximaciones:

- Conversión de global es aproximadamente de un 95%
- El N_2 es esencialmente inerte en el proceso.
- Alimentación de amoniaco es de 0,2866 Kg/Kg de ácido nítrico puro (100%)
- Alimentación de aire es 5,15 Kg/Kg de ácido nítrico puro (100%)
- De la totalidad de aire de alimentación, un 82,5% se alimenta al reactor y el restante 17,5% se alimenta al bleacher.
- Los gases de cola que dejan el absorbedor a 10°C están saturados con agua.
- El aire de alimentación posee una humedad del 60%.
- Todos los componentes menores se consideran insignificantes para los cálculos, por lo tanto, se consideran inertes.

A continuación se presentan las corrientes globales involucradas en el proceso:

	Amoniaco	**Aire**	**Make up agua**	**Gases de cola**	**Acido Nítrico**
Ton/año	51.588,00	927.000	56.894	735.487	300.000
Kg/h	6.448,50	115.875	7.112	91.935	37.500

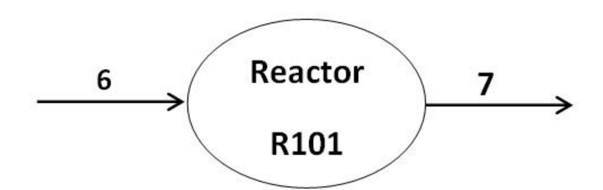
Tabla 8: Resultados balance global

Con estos resultados se logra conocer la cantidad de materias primas requeridas en el proceso (amoniaco y aire), además de lo que se debe reponer durante la operación (agua), con el fin de obtener la producción de ácido nítrico especificada.

Balance por Equipos

Se puede dividir el proceso en 3 fases importantes:

- Reactor (R101)

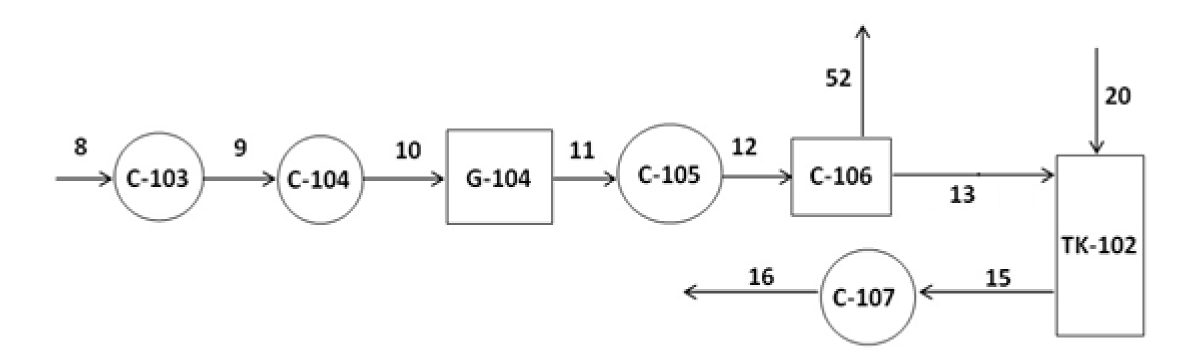


En esta etapa ocurre la oxidación del amoníaco donde ocurren las reacciones (1) y (2), obteniendo los siguientes resultados de flujo y %peso/peso (véase PFD):

Corrientes	6	7
Flujo [Kg/h]	102.045	102.045
HNO_3%w/w	0,0	0,0
NO %w/w	0,0	10,6
NO_2%w/w	0,0	0,0
O_2%w/w	21,3	6,7
Inertes %w/w	1,1	1,1
N_2%w/w	70,2	70,4
N_2O_4%w/w	0,0	0,0
H_20 %w/w	1,1	11,1
NH_3%w/w	6,3	0,0
Total	100,0	100,0

Tabla 9: Balances Reactor

- Tren de Intercambio de Calor**:**

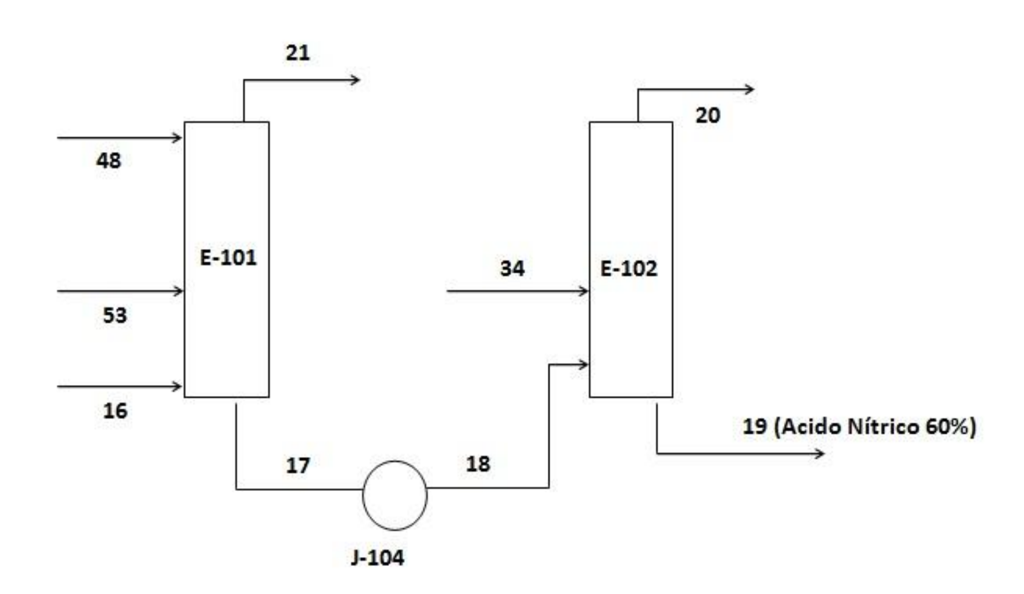


A continuación del Reactor R101, continúa una serie de intercambiadores en los cuales ocurren las reacciones (3) a (8), obteniéndose los siguientes resultados:

Corrientes	8	9	10	11	12	13	15	16	20	52
Flujo [Kg/h]	102.045	102.045	102.045	102.045	102.045	84.247	106.006	106.006	21.759	17.798
HNO_3 %w/w	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	42
NO %w/w	10,6	10,0	8,5	8,3	6,2	2,7	0,4	0,3	0	0
NO_2 %w/w	0,0	0,8	3,0	3,4	6,1	4,7	6,7	6,7	0	0
O_2 %w/w	6,7	6,4	5,6	5,5	4,4	1,5	4,2	4,3	16,4	0
Inertes %w/w	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4	1,3	1,3	0,86	0
N_2 %w/w	70,4	70,4	70,4	70,4	70,4	85,3	82,1	82,1	74,2	0
N_2O_4 %w/w	0,0	0,0	0,1	0,1	0,6	4,4	5,1	5,1	6,8	0
H_20 %w/w	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	0	0,2	0,2	1,74	58
NH_3 %w/w	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 10: Balances en tren de intercambiadores

- Zona de Absorción:



Luego del tren de intercambio de calor, la corriente de salida del intercambiador C107 entra en la torre de absorción, donde ocurren las reacciones (9) a (11). Al salir de la torre, la corriente de fondo de la torre entra en el bleacher, obteniendo el producto final terminado.

Corrientes	16	17	18	19	20	21	34	48	53
Flujo [Kg/h]	106.006	38.981	38.981	37.500	21.759	91.935	20.278	7.112	17.798

HNO_3 %w/w	0,0	57,7	57,7	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42
NO %w/w	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
NO_2 %w/w	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0
O_2 %w/w	4,3	0,0	0,0	0,0	16,4	3,0	22,7	0,0	0
Inertes %w/w	1,3	0,0	0,0	0,0	0,86	1,5	1,2	0,0	0
N_2 %w/w	82,1	0,0	0,0	0,0	74,2	94,3	74,91	0,0	0
N_2O_4 %w/w	5,1	3,8	3,8	0,0	6,8	0,1	0,0	0,0	0
H_20 %w/w	0,2	38,5	38,5	40,0	1,74	1,0	1,19	100,0	58
NH_3 %w/w	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0
Total	100,0	100,0	100,0	100	100	100,0	100,0	100,0	100

Tabla 11: Balances zona de absorción

Finalmente, la corriente 19 corresponde al producto terminado, transformando unidades se tiene:

$$\mathbf{37.500}\left[\frac{\boldsymbol{Kg}}{\boldsymbol{h}}\right] * \mathbf{8.000}\left[\frac{\boldsymbol{h}}{\boldsymbol{a\tilde{n}o}}\right] * \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{1000}}\left[\frac{\boldsymbol{Ton}}{\boldsymbol{Kg}}\right] = \mathbf{300.000}\left[\frac{\boldsymbol{Ton}}{\boldsymbol{a\tilde{n}o}}\right]$$

En la sección anexos, se adjunta una tabla resumen con las principales corrientes del proceso.

Disposición de Residuos

Emisión de Gases

El gas de cola que deja la torre de absorción por la parte superior, contiene óxidos de nitrógeno (820[ppm]), los cuales son importantes agentes contaminantes. Por lo tanto la disminución en la concentración de NOx a niveles aceptables (<100 ppm) se hace indispensable.

Entre los métodos disponibles para cumplir lo anterior, se pueden destacar:

- Absorción con agua
- Reducción catalítica no selectiva: Utilización de CH_4 o H_2 en un catalizador de rodio o platino para reducir los gases.
- Reducción catalítica selectiva (SCR): En el interior de un reactor, óxido nítrico y dióxido de nitrógeno reaccionan con amoniaco y se reducen a N_2 en presencia de un catalizador de Zeolita.

Se opta por el tercer método, ya que cuenta con ventajas sustanciales respecto a los otros dos:

- Rendimiento alto
- No se requiere utilización de combustibles para llevarla a cabo.
- Amoniaco disponible en todo momento.
- No se ve afectada la eficiencia de la turbina de gases de cola.

El proceso culmina con la mayor parte de los óxidos reducidos a N_2 y en condiciones adecuadas para ser liberados a la atmosfera.
Las reacciones involucradas son las siguientes:

$$6NO + 4NH_3 \rightarrow 5\mathrm{N}_2 + 6\mathrm{H}_2\mathrm{O}$$
$$6NO_2 + 8NH_3 \rightarrow 7N_2 + 6H_2O$$
$$3O_2 + 4NH_3 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O$$

La temperatura a la que ocurren estas reacciones esta por sobre los 200°C. Dado el calentamiento previo a la zona de reducción del gas, este arriba al reactor en condiciones de operación optimas.

Control y mantención periódica del catalizador, aseguran un alto rendimiento de las reacciones.

Residuos Líquidos

El proceso de producción de ácido nítrico no presenta cantidades considerables de RILES. Aguas amoniacales provenientes de purgas del vaporizador y aguas de lavado serán neutralizadas con ácido nítrico antes de ser dispuestas en estanques de desecho.

Residuos Sólidos

No se producen desechos solidos durante la producción. Residuos ajenos al proceso tales como papel, envases, ropa, podrán ser acumulados en una zona dispuesta para tales efectos y luego ser retirados hacia un vertedero local.

Ubicación de la Planta

Con todos los antecedentes expuestos y dado que la materia prima con la que se trabajará solo puede ser adquirida desde el extranjero, resulta conveniente ubicar la planta en las cercanías de un terminal portuario.
Considerando el aumento en la producción de nitrato amonio por parte de ENAEX, surgen posibilidades de ventas de ácido nítrico, ya que es la principal materia prima de este proceso. Además, mantienen en carpeta la instalación de una planta productora de Amoniaco en el norte del país.

Las proyecciones indican que las importaciones seguirán aumentando en los siguientes años. Como empresa se podría ser capaz de cubrir cierto porcentaje de esta demanda. Siendo varias las empresas nacionales que importan este producto, sus gastos de operación se verán disminuidos, al existir esta nueva industria encargada de producirlo dentro del país.

Ante todas estas consideraciones, se estima que el lugar más adecuado para emplazar la planta de producción de ácido nítrico a partir de amoniaco, es en la zona norte del país, específicamente en la zona industrial de Mejillones a un lado de la costa.



Ilustración 17: Ubicación planta

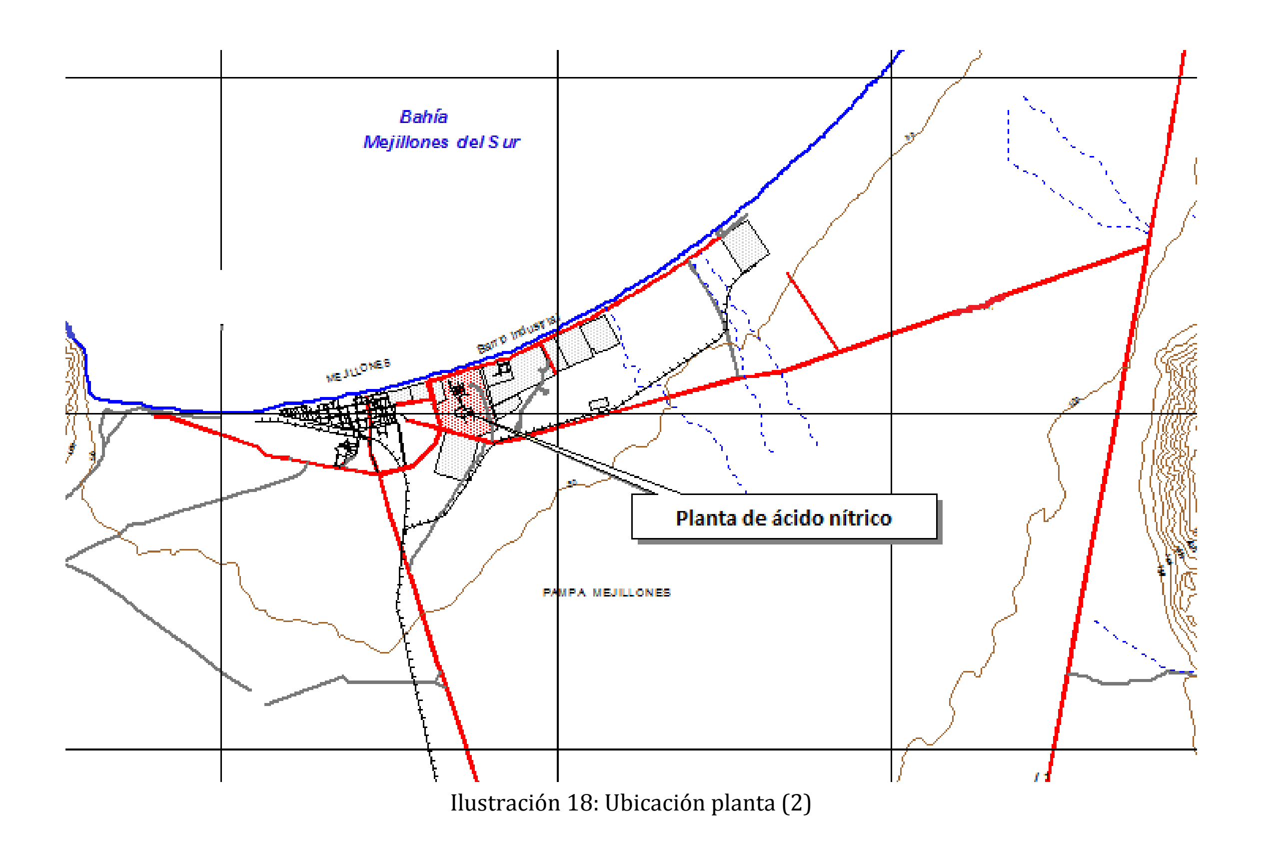


Ilustración 18: Ubicación planta (2)

Bibliografía

Enciclopedia Ullmann.(s.f.).
HYSYS 3.2. (s.f.).
Legal Publishing. (s.f.). Obtenido de http://www.legalpublishing.cl
Ray, M. S. (s.f.). *Chemical Engineering Design Project.*
Richard P. Pohanish, S. A. (s.f.). *Wiley Guide to Chemical Incompatibilities.*
Robert H. Perry, D. W. (s.f.). *Manual del IngenieroQuímico.*

Anexos

Ficha de Seguridad Ácido Nítrico

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ÁCIDO NÍTRICO **ICSC: 0183**
Octubre 2006

CAS: 7697-37-2
RTECS: QU5775000
NU: 2031
CE Índice Anexo I: 007-004-00-1
CE / EINECS: 231-714-2

Ácido nítrico concentrado (70%)
HNO_3
Masa molecular: 63,0

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con productos químicos combustibles u orgánicos.	En caso de incendio en el entorno: NO espuma.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con muchos compuestos orgánicos frecuentes.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Sensación de quemazón. Tos. Dificultad respiratoria. Jadeo. Dolor de garganta. Síntomas no inmediatos (ver Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Piel	Quemaduras cutáneas graves. Dolor. Decoloración amarilla.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras..	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ingestión	Dolor de garganta. Dolor abdominal. Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Shock o colapso. Vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	NO provocar el vómito. Dar a beber uno o dos vasos de agua. Reposo. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS

¡Evacuar la zona de peligro! Consultar a un experto. Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración. Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Neutralizar cuidadosamente el residuo con carbonato sódico. Eliminarlo a continuación con agua abundante. NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles.

ENVASADO Y ETIQUETADO

Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos.
Clasificación UE
Símbolo: O, C
R: 8-35
S: (1/2-)23-26-36-45
Nota: B
Clasificación NU
Clasificación de Peligros NU: 8
Riesgos Subsidiarios de las NU: 5.1
Grupo de Envasado NU: I
Clasificación GHS
Peligro
Puede ser corrosiva para los metales.
Mortal en caso de ingestión.
Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares.
Provoca daños en las vías respiratorias si se inhala.
Provoca daños en el tracto digestivo por ingestión.
Provoca daños en las vías respiratorias y en los dientes tras exposición prolongada o repetida si se inhala.

RESPUESTA DE EMERGENCIA

Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-80S2031-I Código NFPA: H4; F0; R0; OX

ALMACENAMIENTO

Separado de sustancias combustibles y reductoras, bases y de alimentos y piensos orgánicos. Mantener en lugar fresco, seco y bien ventilado.

IPCS International Programme on Chemical Safety WHO UNEP

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ÁCIDO NÍTRICO ICSC: 0183

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO
Líquido incoloro a amarillo, de olor acre.

PELIGROS QUÍMICOS
La sustancia se descompone al calentarla suavemente, produciendo óxidos de nitrógeno. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, p.ej. turpentina, carbón, alcohol. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva para los metales, formando gas combustible (hidrógeno-ver FISQ:0001). Reacciona violentamente con compuestos orgánicos.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN
TLV: 2 ppm como TWA, 4 ppm como STEL; (ACGIH 2006).
MAK: IIb (no establecido pero hay datos disponibles) (DFG 2008).

VÍAS DE EXPOSICIÓN
Efectos locales graves por todas las vías de exposición.

RIESGO DE INHALACIÓN
Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.

EFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN
La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación puede causar edema pulmonar (ver Notas). Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata (ver Notas).

EFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA
Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al vapor. La sustancia puede afectar a los dientes, dando lugar a erosión dental.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 121°C
Punto de fusión: -41,6°C
Densidad relativa (agua = 1): 1,4
Solubilidad en agua: miscible
Presión de vapor, kPa a 20°C: 6,4
Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2,2

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,07
Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0,21

DATOS AMBIENTALES

NOTAS

Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto hasta que han pasado unas pocas horas o incluso días y se agravan con el esfuerzo físico. Esta Ficha ha sido parcialmente actualizada en enero de 2008: ver Límites de exposición.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-EC: 1 ppm, 2,6 mg/m^3

Notas: Agente químico que tiene un valor límite indicativo por la UE

Ilustración 19: Ficha de seguridad Ácido Nítrico

Ficha de Seguridad Amoniaco:

CISTEMA SURATEP **Emergencias: tel 018000 941414 (todo el país) 4055900 (Bogotá). Servicio 24 horas**

HOJA DE SEGURIDAD

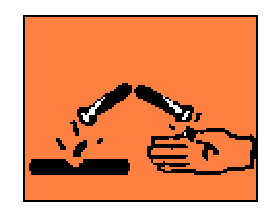
CORROSIVO 8

AMONIACO EN SOLUCION

NH_4OH

Hidróxido de amonio. Agua amoniacal.
Hidrato de amonio. Amoniaco acuoso. Espíritu de Hartshorn.
Solución acuosa de amoniaco. Líquido incoloro con olor picante, sofocante e intenso. Sabor acre, produce lagrimeo.
Número CAS: [1336-21-6]

Número UN: 2672



CORROSIVO

RIESGOS Y PRECAUCIONES:
Frases R: 34-37 Provoca quemaduras. Irrita las vías respiratorias.
Frases S: 7-26-36/37/39-45. Mantenga en recipiente bien cerrado. No respire los vapores. En caso de contacto con los ojos lávelos inmediatamente con abundante agua y acuda al médico. Use siempre traje, guantes adecuados y protección para ojos y cara. En caso de accidente o malestar acuda inmediatamente al médico y muéstrele la etiqueta del producto.
NFPA: Salud **3**; Inflamabilidad **1**; Reactividad **0**; Especial **COR**

PROPIEDADES FISICOQUIMICAS IMPORTANTES:
Punto de ebullición: 27 ºC
Punto de inflamación: La solución NO es inflamable.
Límites de inflamabilidad: de 16 a 25 % (el gas).
Temperatura de autoignición: 651 º C (el gas).
Umbral de olor: de 0,7 ppm a 54 ppm (reconocimiento). No confiable como signo de advertencia.
Solubilidad: Soluble en todas proporciones en agua fría. Soluble en metanol y en etanol.
Presión de Vapor(mmHg) : 580 a 20 ºC para 28% solución
Gravedad específica: Entre 0,88 y 0,96 (Agua = 1)
Densidad del vapor: 0,6 para el gas (Aire = 1)
Punto de congelamiento: -75º C.
Valor de pH: 12 (fuertemente alcalino)

PRIMEROS AUXILIOS:
Inhalación: Tome precauciones para su propia seguridad (use los elementos de protección). Retire a la víctima del sitio y llévela al aire fresco; personal capacitado debe aplicar respiración artificial si la víctima no respira u oxigeno si respira con dificultad. Evite el contacto boca boca si la víctima ha ingerido o inhalado la sustancia. Acuda inmediatamente al médico.
Contacto con los ojos: Lave con abundante agua por 20 minutos, abriendo los párpados. No efectúe medidas de neutralización. Acuda inmediatamente al oftalmólogo. Siga lavando mientras llega el especialista.
Contacto con la piel: Lave con abundante agua durante 20 minutos. Quite inmediatamente la ropa y zapatos contaminados. Extraiga la sustancia con algodón impregnado de polietilenglicol 400, si hay disponible. Acuda al médico. Descontamine completamente las prendas antes de volver a utilizarlas.
Ingestión: Enjuague los labios y boca con abundante agua. Dé a beber lentamente un litro de agua. NO INDUZCA AL VOMITO debido al riesgo de perforación. Llame al médico inmediatamente. No suministre nada si la víctima está inconsciente o desvaneciéndose. Si el vómito ocurre naturalmente, mantenga la víctima agachada.

INCENDIO:
Liquido NO combustible. Los recipientes abiertos liberan amoniaco gaseoso (**inflamable**), que puede arder por calor, chispa o llama. El contacto con oxidantes fuertes causa incendio o explosión.
Los recipientes cerrados expuestos al calor pueden explotar.
Evacue y señalice el área en 200 metros en todas direcciones. Para carrotanques, aísle en 800 metros. Utilice ropa de protección total incluyendo autocontenido. Acérquese en la dirección del viento. Precipite los vapores con rocío de agua. Retire los contenedores si puede hacerlo sin riesgo o enfríelos con rocío de agua. Contenga el agua utilizada para su posterior disposición ecológica.
Medios de extinción apropiados: Agua en spray, espuma, polvo químico seco, dióxido de carbono.

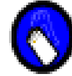
VERTIDO ACCIDENTAL:
Evacue y señalice en 50 a 100 metros en todas direcciones. Elimine toda fuente de ignición o calor, apague la batería y el motor del vehículo. Utilice todos los elementos de protección personal. Evite el escurrimiento hacia corrientes de agua. Contenga con diques de poliuretano o calcetines especiales. Recoja con materiales absorbentes inertes e introduzca en contenedores marcados y con cierre hermético para su posterior eliminación ecológica. Ventile muy bien el área y precipite los vapores con rocío de agua. No use implementos metálicos (pueden producir chispas y causar incendio).
Absorbentes Recomendados: Calcetines, Almohadas y Tapetes.

ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD:
Los recipientes abiertos liberan gases de amoniaco. No ocurrirá polimerización peligrosa.
Incompatibilidades: Metales livianos (zinc, cobre, estaño, aluminio). Reacciona violentamente con ácidos, agentes oxidantes, hidróxidos alcalinos, yodo, bromo e hipoclorito de calcio.
Condiciones a evitar: Temperaturas mayores a 25 ºC.
Productos de descomposición térmica: Óxidos de nitrógeno.

PARAMETROS DE CONTROL POR EXPOSICIÓN:
TLV - TWA : 25 ppm **TLV-CEILING:** 35 ppm **IDLH:** 500 ppm

MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO:

Elementos de protección personal sugeridos:



Caucho butilo, nitrilo o neopreno.



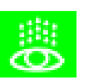
De 12,5 a 35 ppm: Respirador Full-Face con filtro especial para amoniaco.
Mayor de 35 ppm: Línea de aire o autocontenido.

Caucho butilo o nitrilo.

Overol completo en caucho butilo, PVC, CPF® 3 ó 4 o equivalentes.



Ducha



Lavaojos

Temperatura ideal de almacenamiento: 15 - 25 °C. **No lo almacene por encima de 25 °C.**
Abra lenta y cuidadosamente los recipientes. NO lo almacene en sótanos. Proteja los recipientes de cualquier daño físico.
Evite cualquier contacto o inhalación del producto y no coma, beba ni fume durante su manipulación. Almacene en los recipientes originales cerrados herméticamente, en sitio bien ventilado exclusivo para productos químicos.
Desde 10 °C, el gas amoniaco que se desprende es considerablemente peligroso.
Manipule y almacene lejos de toda fuente de ignición y calor. Conecte a tierra en operaciones que puedan producir cargas estáticas. **Mantenga el producto separado de materiales incompatibles**, medicamentos y alimentos, protegido de la humedad y de la luz solar directa.
Separe la ropa de trabajo de la de calle. Lave y disponga adecuadamente los envases vacíos y los residuos.

TRANSPORTE

Cárguelo únicamente en vehículos especialmente equipados para el transporte de sustancias químicas.
No se admite en aviones de pasajeros (IATA)
Etiquete adecuadamente los contenedores y manténgalos cerrados. Asegure todos los recipientes del vehículo contra movimiento. Mantenga extintores de acuerdo a los medios de extinción de incendio sugeridos.
No lo transporte junto con materiales de las clases: Explosivos (1), gases venenosos (2.3), sólidos inflamables (4.1) materiales espontáneamente combustibles (4.2), peligrosos con humedad (4.3) oxidantes fuertes (5.1), peróxidos orgánicos (5.2) y venenos (6.1) Puede transportarse con sustancias corrosivas (8) sólo si van separados de manera que no entren en contacto en caso de derrame. Los corrosivos ácidos son incompatibles.
Verifique que no haya fugas. Ubíquelo sobre estibas a por lo menos 10 cm del piso. Cárguelo de tal manera que se evite la mezcla con otros materiales peligrosos en el evento de un derrame. Cuando cargue frascos o contenedores fáciles de romper hágalo uno por uno y en forma cuidadosa. Estos recipientes deben estar encasillados o embalados con tablas de forma que queden plenamente soportados. Disponga solo el número de hileras que puedan ser soportadas por la primera sin peligro de que esta se rompa o se deteriore. El piso del vehículo debe estar liso. Puede utilizar en el interior un piso falso asegurado contra movimiento.
Clasificación de peligro según el Libro Naranja de la ONU: **8 - Corrosivo. (Ver Decreto 1609 de 2002)**

INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA:

Es una sustancia corrosiva. Por contacto destruye los tejidos.
Inhalación: Vapor o neblinas pueden causar irritación e inflamación del sistema respiratorio resultando en ronquera y estrechamiento de la garganta, laringitis, bronconeumonía y edema pulmonar el cual puede ser fatal.
Puede desarrollarse tos productiva con esputo manchado de sangre. Como resultado de sobreexposición puede presentarse obstrucción de las vías aéreas y disminución de la capacidad de difusión y deterioro de la función ciliar.
Contacto con la piel: Irritación y quemaduras cáusticas, con efectos como dermatitis y necrosis.
Contacto con los ojos: El vapor o el líquido pueden producir desde irritación y lagrimeo hasta daños severos y ceguera.
Ingestión: Irritación de las mucosas, dolor severo en boca, pecho y abdomen, tos, náuseas, vómito con sangre, colapso, shock, dificultades respiratorias, pérdida de conocimiento. Puede ocurrir perforación gástrica, intestinal o del esófago e irritación de los pulmones o edema como efecto retardado.
Efectos crónicos: Exposición prolongada o repetida sobre la piel puede causar resecamiento, efecto desengrasante y dermatitis.
Exposición prolongada o repetida puede causar daño a los riñones, hígado, ojos o pulmones.
Condiciones médicas agravadas por la exposición: Asma, bronquitis, enfisema u otras enfermedades de los pulmones.

INFORMACIÓN ECOLÓGICA:

Clasificación alemana de contaminación del agua: 2 (Compuesto contaminante). No presenta bioacumulación.
Altera el pH de ecosistemas acuáticos. **Muy tóxico** para la vida acuática y corrosivo, aún en concentración mínima.
Dosis tóxicas: Daphnia magna CE_{50}: 24 mg/l /48 h. **En peces** es tóxico desde 0,3 mg/l.
Está prohibido descargar en suelos o corrientes de agua el producto, sus residuos y sus recipientes vacíos

BIBLIOGRAFÍA:

Ilustración 20: Ficha de seguridad Amoniaco

Balances por Corrientes

Corrientes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
Flujo [Kg/h]	6.449	6.449	6.449	6.449	6.449	102.045	102.045	102.045	102.045	102.045	102.045	102.045	84.247	106.006
HNO3 %w/w	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NO %w/w	0	0	0	0	0	0,0	10,6	10,6	10,0	8,5	8,3	6,2	2,7	0,4
NO2 %w/w	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,8	3,0	3,4	6,1	4,7	6,7
O2 %w/w	0	0	0	0	0	21,3	6,7	6,7	6,4	5,6	5,5	4,4	1,5	4,2
Inertes %w/w	0	0	0	0	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4	1,3
N2 %w/w	0	0	0	0	0	70,2	70,4	70,4	70,4	70,4	70,4	70,4	85,3	82,1
N2O4 %w/w	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,6	4,4	5,1
H20 %w/w	0	0	0	0	0	1,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	0,0	0,2
NH3 %w/w	100	100	100	100	100	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100	100

Corrientes	16	17	18	19	20	21	28;29	30;31	32	33	34	35	36	48	52	53
Flujo [Kg/h]	106.006	38.981	38.981	37.500	21.759	91.935	115.875	115.875	115.875	20.278	20.278	95.597	95.597	7.112	17.798	17.798
HNO_3 %w/w	0	57,7	57,7	60,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	42
NO %w/w	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO_2 %w/w	6,7	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O_2 %w/w	4,3	0	0	0	16,4	3,0	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	0	0	0
Inertes %w/w	1,3	0	0	0	0,86	1,5	1,20	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0	0	0
N_2 %w/w	82,1	0	0	0	74,2	94,3	74,91	74,9	74,91	74,91	74,91	74,91	74,91	0	0	0
N_2O_4 %w/w	5,1	3,8	3,8	0,0	6,8	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H_2O %w/w	0,2	38,5	38,5	40,0	1,74	1,0	1,19	1,2	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	100	58	58
NH_3 %w/w	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 12: Composición de las corrientes